

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra částí a mechanismů strojů

Konstrukce malého trhacího stroje
Design of a Tensile Testing Machine

Student:

Petr Stacha

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Zdeněk Foltá, Ph.D.

Ostrava 2012

Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Stacha**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení
Specializace: 40 Konstrukce strojních dílů a skupin
Téma: Konstrukce malého trhačího stroje
Design of a Tensile Testing Machine

Zásady pro vypracování:

Pro výuku předmětu Technický experiment je potřebný malý trhačí stroj se zátěžovou tahovou/tlakovou silou cca 30 kN. Stroj bude sloužit zejména k pevnostním zkouškám lepených vzorků. Předpokládá se ruční vyvození síly prostřednictvím hydrauliky.

1. Proveďte rešerši stávajících trhačích strojů včetně principů vyvození síly.
2. Vytipujte vhodné rozměry testovaných vzorků a jejich uchycení do stroje.
3. Navrhněte konstrukci malého trhačího stroje.
4. Proveďte potřebné pevnostní výpočty.
5. Zhotovte úplnou výkresovou dokumentaci.

Seznam doporučené odborné literatury:

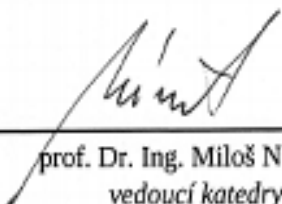
Boháček, F. *Části a mechanismy strojů I a II*. Brno: VUT Brno, 1987
Bolek, A. a kol. *Části strojů - svazek 1*. Praha: SNTL, 1990.
Němec, J. a kol. *Pružnost a pevnost ve strojírenství*. Praha: SNTL, 1989.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Zdeněk Foltá, Ph.D.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012


prof. Dr. Ing. Miloš Němček
vedoucí katedry




prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 21. 5. 2012


podpis studenta

Prohlašuji, že

- Jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou (diplomovou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě . 21.5. 2012



Podpis

Závada 153

747 19 BOHUSLAVICE

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

STACHA, P. *Konstrukce malého trhacího stroje : bakalářská práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů, 2012, 46 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Zdeněk Foltá, Ph.D.

Pro konstruktéra je velmi důležité, aby věděl, jaké vlastnosti má daný materiál, aby docházelo k jeho správnému a hospodárnému využívání. K zjištění technických vlastností jsou materiály podrobovány různým testům. Jedny z nejvýznamnějších jsou zkoušky pevnosti v tahu, tlaku a ohybu. Cílem bakalářské práce je vypracovat konstrukční návrh univerzálního trhacího stroje na základě informací o trhacích strojích prodávaných na trhu. Stroj bude sloužit k pevnostním zkouškám lepených vzorků a bude mít zátěžovou tahovou/tlakovou sílu cca 30 kN. Součástí bakalářské práce je i návrh zkušebního vzorku a kompletní konstrukční návrh včetně pevnostních výpočtů a úplné výkresové dokumentace.

Anotation of the Bachelor's work

STACHA, P. *Design of a Tensile Testing Machine : Bachelor thesis*. Ostrava : VŠB – Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, 2012, 46 p. Thesis head: doc. Ing. Zdeněk Foltá, Ph.D.

Knowledge of material properties is very important for designer, because he can design correct and economical using of material. Materials are tested for finding technical properties. One of the most significant tests is tensile-strength test, compressive strength test and bending test, which are realized on tensile-strength testing machine. The purpose of bachelor thesis is project of designing a tensile-strength testing machine, which is based on information about tensile-strength testing machines, which are sold in marketplace. The machine will be used for strength tests of glued samples by 30 kN load. Bachelor thesis' components are design of test samples and complete design of machine including stress analysis and complete documentation.

Obsah

Obsah	6
Seznam použitých zkratk a symbolů	7
0 Úvod.....	9
1 Definice základních pojmů	10
1.1 Materiál a jeho vlastnosti	10
1.2 Mechanické vlastnosti technických materiálů	10
1.3 Mechanické zkoušky	12
1.4 Trhací stroj	19
1.5 Typologie univerzálních trhacích strojů	21
1.6 Přehled aktuálních nabídek trhacích strojů	23
2 Konstrukční návrh s kontrolními výpočty	27
2.1 Zkušební vzorky	28
2.2 Tlačný šroub	29
2.3 Hydraulický válec	32
2.4 Tyč pohyblivá	33
2.5 Tyč pevná	35
2.6 Příčník koncový	36
2.7 Příčník průchozí	37
2.8 Zajišťovací čep	38
2.9 Kleština	40
2.10 Vodícího držák tlačného šroubu	41
3 Závěr	44
4 Seznam použité literatury	45
5 Seznam příloh	47

Seznam použitých zkratk a symbolů

A	[mm]	tažnost v tahu
A_t	[mm]	tažnost v tlaku
E	[MPa]	modul pružnosti v tahu
F	[N]	síla v tyčích
F_m	[N]	zátěžná síla v tahu
F_{mt}	[N]	zátěžná síla v tlaku
F_O	[N]	síla vyvozena šroubem
F_u	[N]	síla lidské paže
F_V	[N]	síla vyvozená válcem
F_{KRIT}	[N]	kritická síla
$F_{PŘET}$	[N]	síla potřebná k přetržení vzorku
J_{min}	[mm]	minimální kvadratický moment
L_P	[mm]	délka páky
L_u	[mm]	konečná délka zkušebního vzorku
L_0	[mm]	původní délka zkušebního vzorku
M_{Tz}	[N·m]	třecí moment v závitě
M_o	[N·m]	ohybový moment
M_u	[N·m]	utahovací moment
P	[mm]	rozteč závitů
R_e	[MPa]	mez kluzu v tahu
R_{et}	[MPa]	mez kluzu v tlaku
R_m	[MPa]	mez pevnosti v tahu
R_{mt}	[MPa]	mez pevnosti v tlaku
S_{LEP}	[MPa]	plocha lepidla
S_U	[mm ²]	konečná plocha zk. vzorku
S_v	[mm ²]	plocha pístu ve válci
S_0	[mm ²]	původní plocha zk. vzorku
W_o	[mm ³]	průřezový modul v ohybu
W_k	[mm ³]	průřezový modul v krutu
Z	[mm]	zúžení zk. vzorku
Z_t	[mm]	rozšíření zk. vzorku
b, c	[mm]	rozměry kleštiny
d	[mm]	jmenovitý průměr závitů
b_k, h_k, l_k	[mm]	rozměry koncového příčnicku

b_p, h_p, l_p	[mm]	rozměry průchozího příčnicku
$d_{\check{c}}$	[mm]	průměr čepu
d_p	[mm]	průměr páky
d_2	[mm]	střední průměr závitu
d_3	[mm]	malý průměr závitu
f_z	[-]	součinitel smykového tření na závitu
k_S	[-]	statická bezpečnost
k_{St}	[-]	statická bezpečnost tyče
k_{Ss}	[-]	statická bezpečnost svaru
$k_{S\check{s}}$	[-]	statická bezpečnost šroubu
k_{\perp}, k_{\parallel}	[-]	převodní součinitele svaru
h_m	[mm]	výška vodícího držáku tlačného šroubu
h_u	[mm]	konečná výška zk. válce
h_0	[mm]	původní výška zk. válce
n	[-]	číselná konstanta charakterizující sílu
p_d	[MPa]	dovolený měrný tlak
p_{dz}	[MPa]	dovolený měrný tlak v závitech
p_{LEP}	[MPa]	pevnost lepidla
p_{Vmax}	[MPa]	maximální tlak ve válci
β	[-]	součinitel tloušťky svaru
ε	[-]	poměrné prodloužení
σ	[MPa]	napětí
σ_d	[MPa]	napětí v tlaku
σ_o	[MPa]	napětí v ohybu
σ_{RED}	[MPa]	redukované napětí
σ_t	[MPa]	napětí v tahu
τ_k	[MPa]	napětí v krutu
φ	[°]	redukovaný třecí úhel závitu
ψ	[°]	úhel stoupání závitu

0 Úvod

Pro práci konstruktéra je velmi důležitá znalost mechanických vlastností konstrukčních materiálů. Jen to jim umožní hospodárný a hlavně bezpečný návrh konstrukčních řešení. Jedny z nejvýznamnějších zkoušek testujících mechanické vlastnosti jsou statické zkoušky pevnosti v tahu, tlaku a ohybu. Pro tyto testy slouží univerzální trhačí stroj.

Trhačí stroj je běžnou součástí vybavení laboratoře zkoušející mechanické vlastnosti výrobků. Existuje mnoho typů testovacích strojů, odlišují se různými parametry. Princip práce je ale obdobný u všech typů strojů. Vzorek se upevní do čelistí a dojde k posunu trhačího rámu směrem od sebe při zkoušce pevnosti v tahu, respektive proti sobě při zkouškách pevnosti v tlaku.

Cílem bakalářské práce je konstrukční návrh trhačího stroje, který bude sloužit k pevnostním zkouškám lepených vzorků se zatěžovací/tlakovou silou cca 30 kN. Síla bude vyvozena pomocí hydraulického válce.

V první části bakalářské práce budou definovány základní pojmy související s vlastnostmi materiálu, trhačími stroji apod. Bude provedena rešerše nabízených strojů včetně principů vyvození síly a uvedena základní typologie trhačích strojů.

Předmětem druhé části práce bude vlastní konstrukční návrh univerzálního trhačího stroje. Budou provedeny potřebné pevnostní výpočty, které pomohou ověřit správnost konstrukčního řešení. V příloze bude dodána kompletní výkresová dokumentace.

Cíle práce:

- Provést rešerši trhačích strojů
- Navrhnout tvar zkušebních vzorků pro zkoušení lepených spojů
- Navrhnout konstrukci trhačího stroje
- Provést pevnostní kontrolu jednotlivých částí
- Zpracovat sestavný výkres a výrobní výkresy

1 Definice základních pojmů

V této kapitole budou definovány základní pojmy, které souvisí s tématem bakalářské práce a trhačmi stroji obecně. Tyto kapitoly jsou čerpány hlavně z ^{7, 8}.

1.1 *Materiál a jeho vlastnosti*

Jednotlivé technické materiály se vyznačují určitými specifickými vlastnostmi. Vlastnosti se dají definovat jako projevy hmoty se zaměřením na užité vlastnosti. Vlastnosti je nutné znát proto, aby docházelo k správnému a hospodárnému využívání technických materiálů.

Vlastnosti materiálů můžeme rozdělit na:

- Fyzikální vlastnosti
- Chemické vlastnosti
- Mechanické vlastnosti
- Technologické vlastnosti

Mezi nejdůležitější fyzikální vlastnosti materiálů patří hustota, délková a objemová roztažnost, tepelná vodivost, elektrická vodivost, měrný elektrický odpor, supravodivost, magnetické vlastnosti.

Pokud se zkoumají chemické vlastnosti, testuje se odolnost proti korozi, žárovzdornost nebo žáropevnost. Nejvýznamnější technologické vlastnosti jsou tvárnost, svařitelnost, obrobitelnost, slévateľnost a odolnost proti opotřebení.

1.2 *Mechanické vlastnosti technických materiálů*

Mechanické vlastnosti materiálů definují, jak se bude materiál chovat při vystavení různému mechanickému namáhání, jako tlak, tah, krut, střih a ohyb a jejich kombinaci. Materiál je většinou vystaven složitým kombinacím namáhání. Mechanické vlastnosti materiálu ovlivňují, jak je materiál schopen odolávat mechanickým namáháním. Mezi nejvíce sledované mechanické vlastnosti patří pružnost, plasticita, pevnost a houževnatost.

Pružnost je vlastnost těles nabýt původního tvaru, přestane-li na ně působit síla, která vyvolala její přetvoření [7]. Jedná se o vratnou deformaci, při odlehčení se rozměry vrátí na původní hodnoty. Nepružný materiál zůstane po odstranění napětí deformován. Tohoto faktu si všiml v roce 1676 Robert Hooke, proto se nazývá Hookův zákon:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (1.1)$$

Kde:

- σ napětí
- ε poměrné prodloužení
- E modul pružnosti v tahu

Plasticita je schopnost pevné hmoty podržet deformace, vyvolané účinkem vnějších sil ⁷. Plastická deformace je nevratná, při odlehčení se rozměry nevrátí na původní hodnoty. Dochází k změně vzájemné polohy částic.

Pevnost je schopnost materiálu nebo součásti odolávat účinkům působení sil, aniž by došlo v některém místě k porušení ⁷.

Houževnatost je odolnost materiálu s velkou tvárností a pevností proti vzniku lomu. Je podmíněna velkou schopností k plastické deformaci ⁷. Mírou houževnatosti je množství mechanické práce potřebné k vytvoření deformace nebo k porušení materiálu, neboli je to práce potřebná na rozdělení materiálu na dvě části.

Mechanické vlastnosti materiálu jsou významně ovlivněny mnoha faktory, jež lze rozdělit na interní (faktory ovlivněné přímo materiálem) a externí (faktory, které na materiál působí z okolí).

Interní faktory:

- chemické složení a chemická heterogenita
- struktura a strukturní heterogenita
- velikost a tvar tělesa
- koncentrátoři napětí (konstrukční a technologické vruby)
- stav povrchu

Externí faktory:

- teplota
- rychlost deformace
- druh a časový průběh zatěžování
- okolní prostředí

1.3 Mechanické zkoušky

Mechanickými zkouškami se získávají údaje potřebné pro konstrukční návrh tvaru, rozměrů a materiálů součástí. Jsou tedy zdrojem pro konstruktéry a objasňují mechanické chování a konkrétní mechanické vlastnosti materiálu.

Mechanické zkoušky lze z hlediska působení síly rozdělit na:

- statické,
- dynamické.

Statické zkoušky

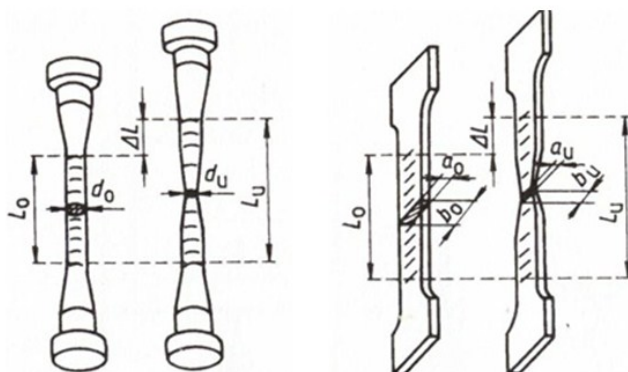
Jedná se o základní zkoušky pro mechanickém testování materiálu. Dochází k pozvolnému zatěžování bez rázu, zatěžování se může několikrát opakovat. Podle způsobu působení zatěžující síly rozdělujeme tyto zkoušky na zkoušky pevnosti v tahu, tlaku, ohybu, krutu a střihu ⁸. Zkoušky mohou probíhat za normálních teplot nebo za nízkých či vysokých a trvají obvykle minuty, při dlouhodobých zkouškách dny až roky. K testování slouží univerzální nebo jednoúčelové stroje.

Dynamické zkoušky

U dynamických zkoušek rázových a cyklických dochází k působení síly nárazově v krátkém okamžiku. Při prudkém namáhání dojde často k náhlému porušení materiálu, i když síla ještě nedosáhla statické pevnosti materiálu. Při zkouškách na únavu materiálu (cyklických) se zatížení několikrát opakuje.

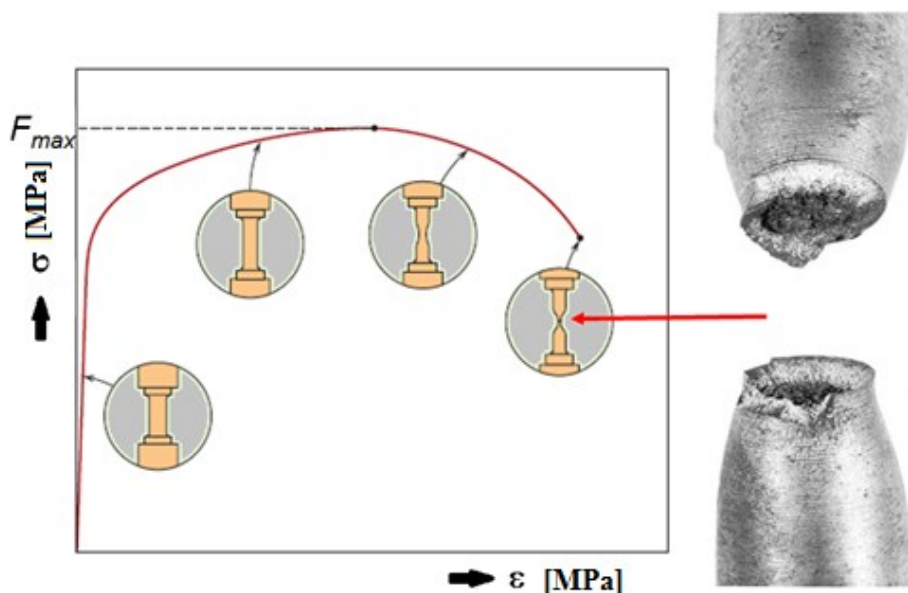
Statická zkouška tahem

Tato zkouška je jednou z nejrozšířenějších základních mechanických zkoušek. Provádí se pomalu u všech technických materiálů, získáváme ji základní hodnoty potřebné pro konstrukční výpočty a volbu vhodného materiálu. Zkouška se zpravidla provádí na zkušebních tyčinkách (vzorcích) normalizovaných rozměrů. Zkušební tyčinky mohou být kruhové nebo ploché, krátké nebo dlouhé.



Obr. 1.1 Zkušební vzorky pro tahovou zkoušku ¹³

Trhací zkouškou zjišťujeme pevnost v tahu, poměrné prodloužení, tažnost a zúžení (kontrakci) zkoušeného materiálu. Zkušební tyčinka se při testu zatěžuje rostoucí silou až do porušení. Pokud se jedná o tvárný materiál, tyčinka se prodlouží a původní průřez se zmenší.



Obr. 1.2 Průběh zkoušky pevnosti v tahu ¹³

U tahové zkoušky se zpravidla určují následující vlastnosti:

1. *Pevnost v tahu* (mez pevnosti v tahu) je smluvní hodnota napětí daného podílem největší zatěžující síly F_m , kterou snese zkušební vzorek, a původního průřezu vzorku S_0 :

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \quad [\text{MPa}] \quad (1.2)$$

Kde:

R_m mez pevnosti v tahu

F_m zátěžová síla v tahu

S_0 plocha původního průřezu zkušební vzorku

2. *Pevnost v kluzu* (mez kluzu v tahu) je napětí, při němž se zkušební vzorek začne významně prodlužovat, aniž by stoupla zatěžující síla, nebo při němž nastává prodlužování doprovázené poklesem zatěžující síly:

$$R_e = \frac{F_e}{S_0} \quad [\text{MPa}] \quad (1.3)$$

Kde:

R_e mez pevnosti v kluzu

F_m zátěžová síla v kluzu

S_0 plocha původního průřezu zkušební vzorku

3. *Poměrné prodloužení* ε je dáno poměrem změny délky Δl k původní délce zkušební vzorku:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_u - L_0}{L_0} \quad (1.4)$$

Kde:

ε poměrné prodloužení zkušební vzorku

ΔL změna délky zkušební vzorku

L_0 původní délka zkušební vzorku

4. Tažnost A je poměrné prodloužení vyjádřené v procentech původní délky:

$$A = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot 100 = \frac{L_0 - L_u}{L_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1.5)$$

Kde:

- A tažnost
- L_u konečná délka zkušebního vzorku
- L_0 původní délka zkušebního vzorku

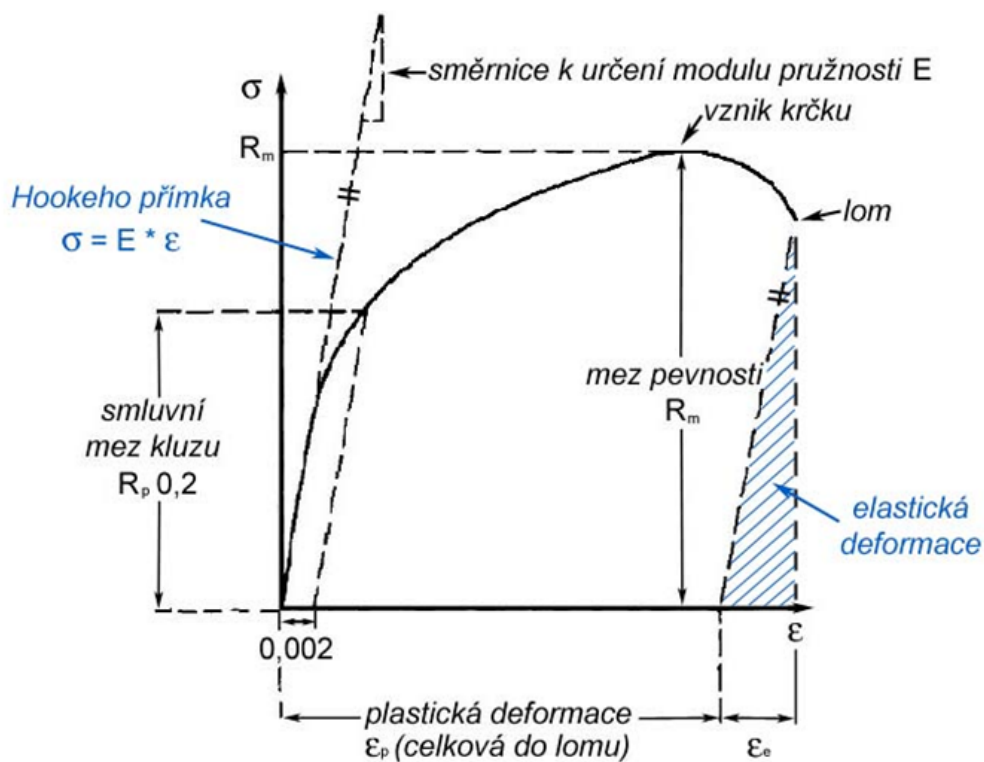
5. Kontrakce Z je dána poměrem zúžení průřezu tyče po přetržení ΔS k původnímu průřezu tyče S_0 . Vyjadřujeme ji v procentech:

$$Z = \frac{\Delta S}{S_0} \cdot 100 = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1.6)$$

Kde:

- Z kontrakce
- S_u konečná plocha průřezu zkušebního vzorku
- S_0 původní plocha průřezu zkušebního vzorku

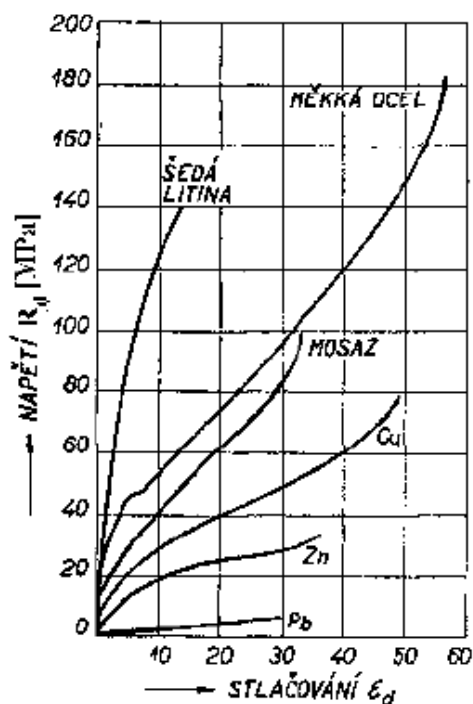
Výsledek tahové zkoušky je zobrazen v Diagramu Tahové zkoušky viz obr. 1.3



Obr. 1.3 Diagram tahové zkoušky ¹¹

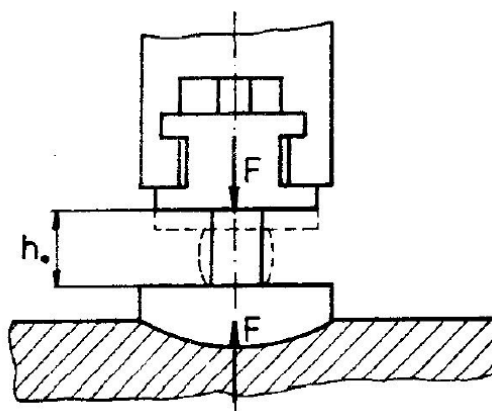
Statická zkouška tlakem

Statickou zkouškou v tlaku se zkoumá hlavně křehkost materiálů a pevnost materiálů tlakově namáhaných, např. ložiskové kovy, litiny nebo stavební hmoty. Jedná se o opačný princip než u tahové zkoušky. Zkušební vzorek má obvykle tvar válečku.



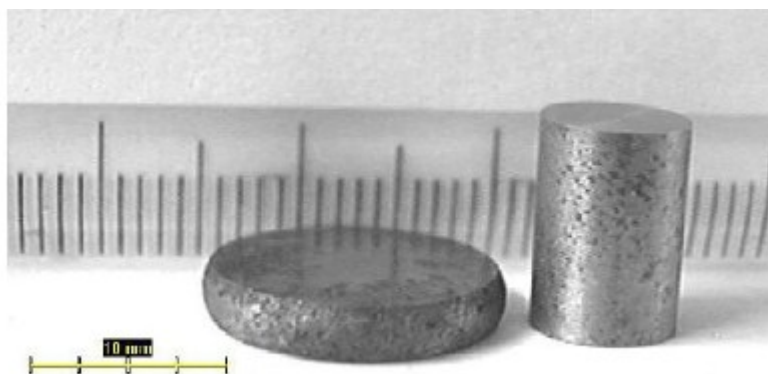
Obr. 1.4 Průběh tlakového diagramu pro různé materiály ¹²

Při zkoušce dochází ke stlačení zkušebního vzorku. Do meze pružnosti vzorku dojde pouze k pružnému stlačení a po odlehčení nabývá svou původní velikost. Po překročení meze kluzu v tlaku nastává vzrůst odolnosti materiálu proti tlaku a dochází k deformaci až na nízký kotouč. Při této situaci nelze určit okamžik porušení

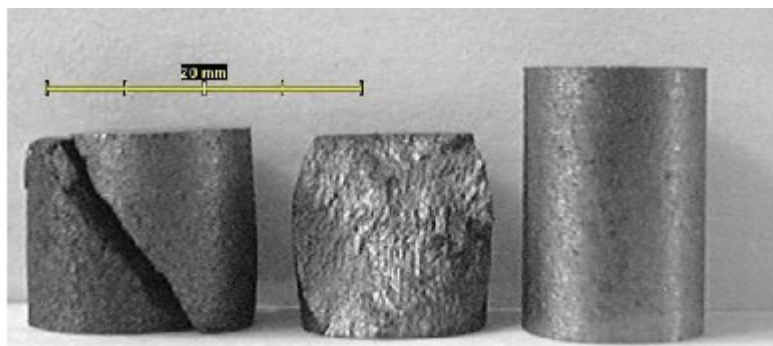


Obr. 1.5 Princip tlakové zkoušky ¹¹

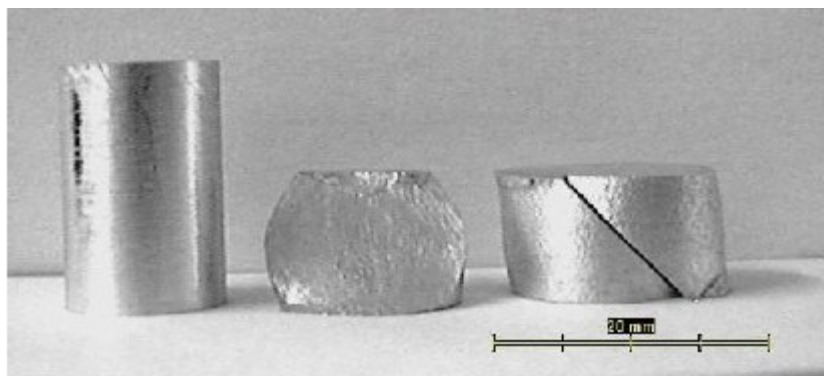
Až po mez úměrnosti platí (v případě houževnatého materiálu) Hookův zákon, z něhož lze stanovit modul pružnosti v tlaku. Po překročení meze kluzu v tlaku nastává, vlivem zpevnění po plastické deformaci vzrůst odolnosti materiálu proti tlaku, které se projeví na průběhu křivky napětí. U měkkých a tvárných materiálů je zpevnění nepatrné, takže se zkušební těleso stlačí až na nízký kotouč, aniž by bylo možno určit okamžik, kdy nastalo porušení. U těchto materiálů se zkouška provádí jen do napětí přesahující minimální mez kluzu.



Obr. 1.6 Zkušební těleso pro zkoušku tlakem – ocel 11 373 ¹²



Obr. 1.6 Zkušební těleso pro zkoušku tlakem – šedá litina ¹²



Obr. 1.7 Zkušební těleso pro zkoušku tlakem – hliníková slitina ¹²

Touto zkouškou se určí obdobné mechanické vlastnosti jako při zkoušce tahem:

1. Pevnost v tlaku (mez pevnosti v tlaku) je smluvní hodnota napětí daného podílem největší zatěžující síly F_m , kterou snese zkušební válec, původního průřezu vzorku S_0 :

$$R_{mt} = \frac{F_{mt}}{S_0} \quad [\text{MPa}] \quad (1.7)$$

Kde:

R_{mt} mez pevnosti v tlaku

F_{mt} zatěžová síla v tlaku

S_0 plocha původního průřezu zkušební válece

2. Pevnost v kluzu (mez kluzu v tlaku):

$$R_{et} = \frac{F_{et}}{S_0} \quad [\text{MPa}] \quad (1.8)$$

Kde:

R_{et} mez kluzu v tlaku

F_{et} zatěžová síla v kluzu

S_0 plocha původního průřezu zkušební válece

3. Tažnost A_t je poměrné prodloužení vyjádřené v procentech původní délky:

$$A_t = \frac{\Delta h}{h_0} \cdot 100 = \frac{h_0 - h_u}{h_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1.9)$$

Kde:

A_t tažnost

h_u konečná výška zkušební válece

h_0 původní výška zkušební válece

4. Mezní poměr rozšíření Z_t :

$$Z_t = \frac{\Delta S}{S_0} \cdot 100 = \frac{S_u - S_o}{S_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1.10)$$

Kde:

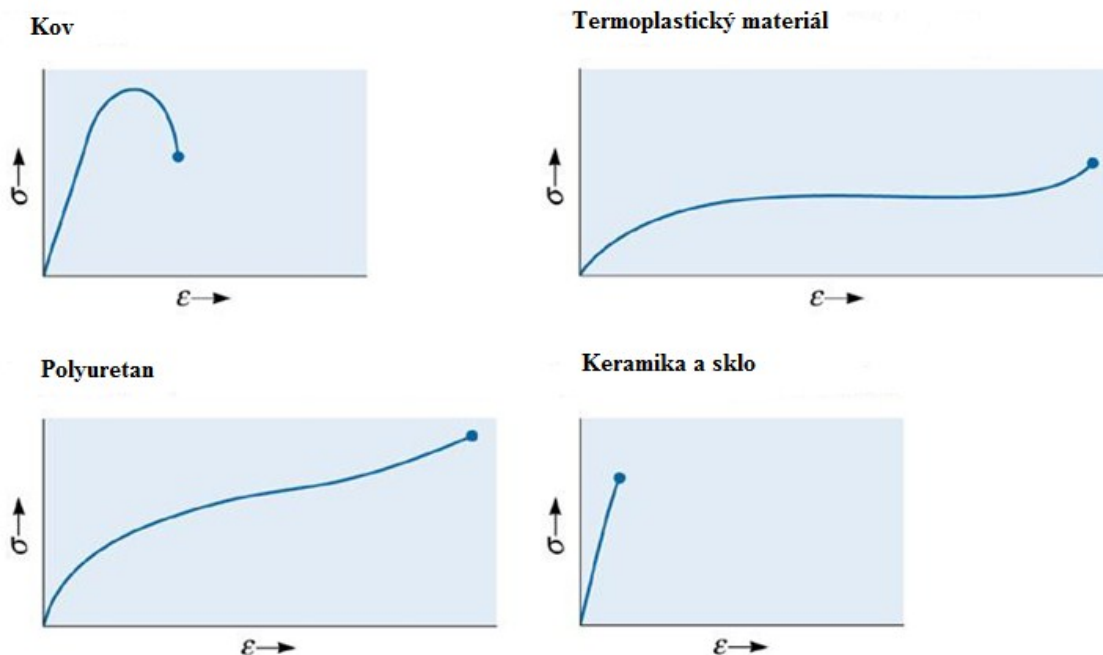
Z_t rozšíření

S_u konečná plocha průřezu zkušebního válce

S_0 původní plocha průřezu zkušebního válce

1.4 Trhací stroj

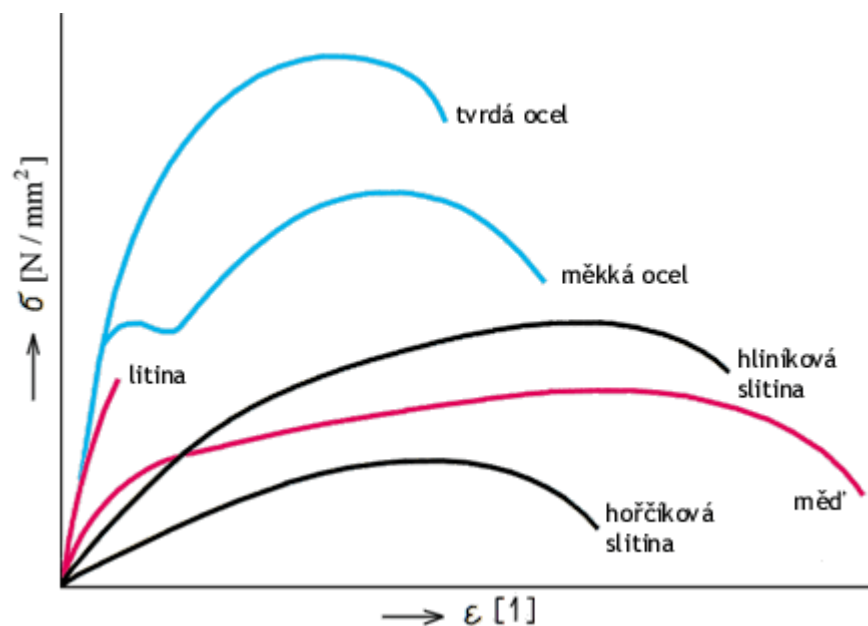
Trhací stroje jsou přístroje hojně využívány v laboratořích, kde probíhají zkoušky mechanických vlastností materiálu. Zkouškám na trhacích strojích je možno podrobit kovové nebo nekovové materiály, nejčastěji jsou jimi měřeny deformační charakteristiky kovu. Testy se provádějí také na papíru, plastu, gumě a textilu. Testovací vzorky je možno zkoušet na pevnost v tahu, tlaku nebo ohybu.



Obr. 1.8 Tahové diagramy pro různé materiály¹²

Zkoušky je možné provádět za standardních klimatických podmínek i za vlivu vysokých či nízkých teplot. Vlivem účinků různých kapalných nebo plyných prostředí se povrchy součástí často porušují. Na trhacím stroji je možné také zkoumat změny deformační charakteristiky např. při korozním ovlivnění materiálu.

Výsledkem měření je zjištění deformace zkušebního vzorku při různých velikostech napětí. Podle výsledku zkoušek je poté možno navrhnout vhodné konstrukční použití materiálu.



Obr. 1.9 Diagram tahové zkoušky pro různé kovové materiály ¹¹

Univerzální trhačí stroj se obvykle skládá z rámu, upínacího ustrojí, zatěžovacího ustrojí, měřicího a registračního zařízení.

Trhačí stroj by měl mít následující možnosti:

- klidný průběh zatěžování bez rázů a otřesů
- možnost plynulé regulace rychlosti zatěžování
- možnost nastavení a udržení konstantní rychlosti deformace
- možnost nastavení a udržení konstantní rychlosti mechanického napětí
- nastavení a udržení určité deformace po libovolně dlouhou dobu
- nastavení a udržení určité zatěžovací síly po libovolně dlouhou dobu
- možnost nastavení periodického nebo rázového zatěžování

1.5 Typologie univerzálních trhacích strojů

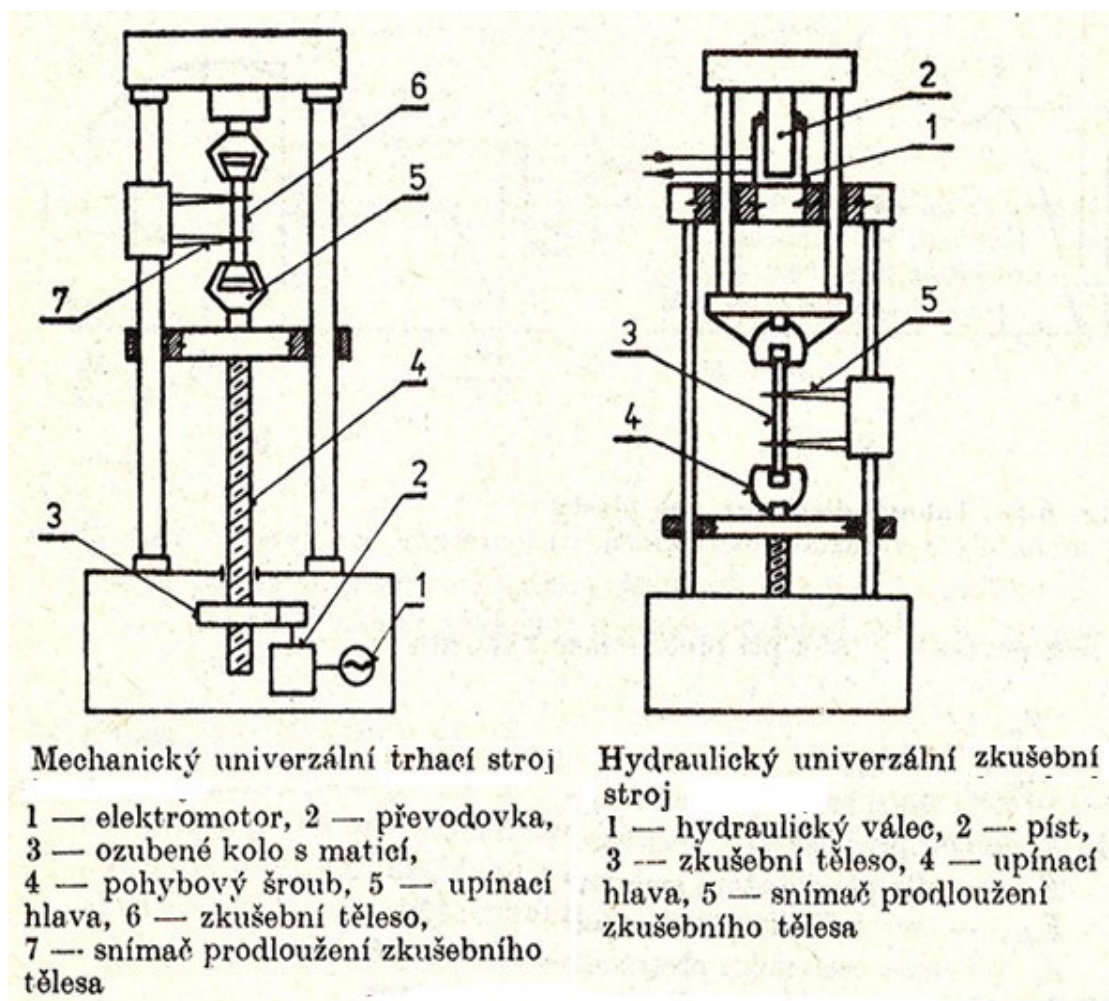
Na trhu existuje několik výrobců, které produkují trhací stroje. Jejich nabídka se liší dle možnosti použití

Typologie dle možnosti použití

Na trhu existuje široká nabídka trhacích strojů. Jedna z hlavních diferencí je, zdali je stroj jednoúčelový nebo víceúčelový. Je-li stroj jednoúčelový, lze na něm testovat pouze jednu mechanickou vlastnost (pevnost v tahu, tlaku nebo ohybu zvlášť). Na rozdíl od jednoúčelového je víceúčelový stroj schopen provádět více typu pevnostních zkoušek. Výhodou tohoto stroje je, že přístroj je multifunkční a není potřeba nákup dalších strojů.

Dle způsobu vyvození síly

Podle tohoto kritéria rozdělujeme trhací stroje na hydraulické nebo mechanické.



Obr. 1.10 Schéma mechanického a hydraulického univerzálního trhacího stroje ⁹

Mechanické univerzální trhací stroje vyvozují sílu pomocí pohyblivého šroubu s maticí. Šroub je upevněn na pohyblivou část stroje, což umožňuje pohyblivému rámu pohybovat se ve směru tahu nebo tlaku. Po upevnění zkušební vzorku dochází ke spuštění elektromotoru. Točivý moment elektromotoru roztáčí matici např. pomocí ozubeného kola. Tímto dojde k pohybu rámu a následné deformaci zkušební vzorku.

Hydraulický univerzální trhací stroj je stroj, jehož síla je vyvozena prostřednictvím hydraulického válce. Při zkouškách pevnosti v tahu nebo tlaku se po upevnění zkušební vzorku začne do hydraulického válce pomocí čerpadla přivádět tlakový olej. Tím dojde k nadzvednutí pohyblivého rámu stroje a následně zdeformování zkušební vzorku.

Typologie podle typu zkoušeného materiálu

Trhací stroj je možné použít na všechny materiály, které daný typ zkoušky vyžadují. Je možné zkoušet gumu, plast, papír, tkaniny, kovy, lana apod.

Typologie dle velikosti vyvozované síly

Pro různé účely a různé typy materiálu je potřeba stroj, který umí vyvinout různou velikost síly. Velikost vyvozované síly ovlivňuje konstrukční řešení stroje. Pro vyšší sílu je potřeba silnější a stabilnější konstrukce trhacího stroje, v opačném případě by mohlo dojít k jeho poškození.

Dle velikosti vyvozované síly rozdělujeme trhací stroje na jednosloupcové, dvojsloupcové a čtyřsloupcové.

Typologie dle zaznamenávacího zařízení

Trhací stroje se liší i způsobem prezentace zjištěných výsledků. V minulosti docházelo k zaznamenávání výsledků trhací zkoušky na milimetrový papír. V současné době jsou nejmodernější stroje napojeny na výkonný software, který umožňuje přenos dat, řízení stroje, grafickou prezentaci výsledků a průběhu zkoušek a další potřebné výpočty. Softwary většinou umožňují také vyhotovovat protokoly o provedené zkoušce včetně chemické analýzy a zjištění tvrdosti materiálu.

Typologie dle typu čelistí

Zájemce o trhačí stroj si může zvolit, jakým způsobem má být uchycen zkušební vzorek. Jednou z možností jsou mechanické čelisti, které fungují na principu pohyblivého šroubu. Zkušební vzorek je možné uchytit také pomocí pneumatických nebo hydraulických čelistí, které pracují na principu pneumatického, resp. hydraulického válce.

1.6 Přehled aktuálních nabídek trhačích strojů

V této podkapitole budou definovány základní a nejprodávanější trhačí stroje v České republice. Jak už bylo zmíněno, v současnosti se prodávají jednosloupové, dvojsloupové nebo čtyřsloupové v závislosti na síle potřebné pro provedení zkoušky.

Tempos TIRAtest 3

Je to jeden z nejrozšířenějších univerzálních trhačích strojů. Tento stroj je jednosloupový s max. zatížením 3 kN. Je vhodný pro zkoušky veškerých materiálů v tahu, tlaku a ohybu, zejména je využíván pro zkoušky přízí, vláken, drátu, textilií, pružin, zkoušky lepených spojů, zkoušky pevnosti nalisovaných částí apod.

Disponuje kvalitním tuhým rámem s velkou stabilitou a umožňuje provádět zkoušky bez počítače s tiskem protokolu přes tiskárnu nebo prostřednictvím počítače s programovatelným vybavením TIRA. Programové vybavení strojů je vysoce komfortní, snadné na obsluhu a je kompletně v české verzi.

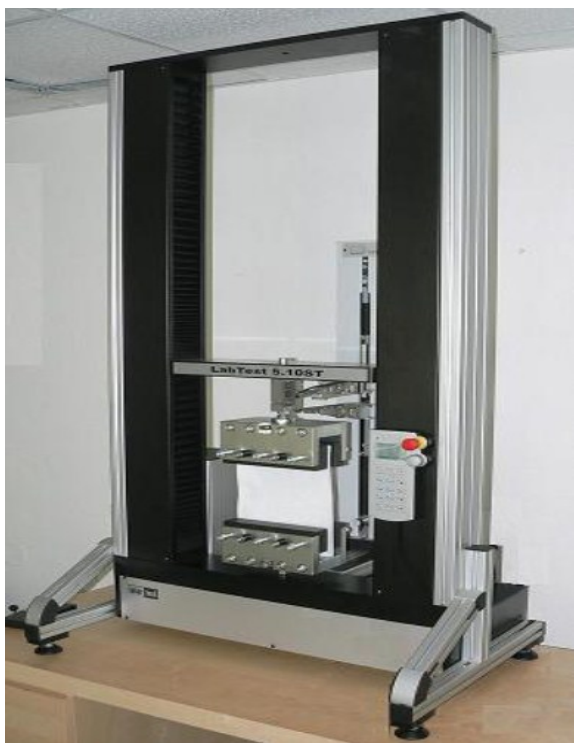


Obr. 1.11 Tempos TIRAtest 3 ¹⁵

Labortech LabTest 5.50ST

Tento stroj je digitální elektronické dvousloupové zkušební zařízení. Je určen pro statické i dynamické zkoušky v tahu, ohybu, krutu a cyklickém namáhání vzorků i celých výrobků. Je použitelný pro mechanické zkoušky s použitím síly do 300 kN. Používají se hlavně ve strojírenství, stavebním a automobilovém průmyslu a ve výzkumu a vývoji.

Stroj má stolní provedení s fixní výškou, je velmi přesný, rámy jsou tuhé a kvalitní. Součástí je i software, který obsahuje soubor programů pro vlastní individuální zkoušky a dá se přizpůsobit i požadavkům dle přání zákazníka.



Obr. 1.12 Labortech LabTest 5.50 ST ¹⁶

LABOR machine FS1000CT

Jedná se o robustní čtyřsloupový univerzální zkušební trhací stroj do 1000 kN, kompletně řízený přes počítač, díky němuž pracuje systém s vysokou přesností. Součástí stroje jsou rámy s vysokou tuhostí, příčníkem s plným profilem a tuhým podpůrným taženým sloupem.

Součástí výrobku je dotykový displej s aktivním řídicím panelem schopný prezentovat průběh zkoušky a výpočty v reálném čase. K přístroji je možno zakoupit velké množství přípravků dle požadavků zákazníka.



Obr. 1.13 LABOR machine FS1000C1 ¹⁷

Tempos TIRAtest 4000

Jedná se o speciální stroj, použitelný pro zkoušky pevnějších materiálů a také větších průměrů. Stroj lze použít do maximálního zatížení až 4000 kN. Pomocí těchto strojů se nejčastěji zkouší:

- Kovy a ocelová lana
- Kotvící a upevňovací šrouby
- Konstrukční prvky v leteckém a automobilovém průmyslu a pod.
- Tlakové zkoušky konstrukčních dílů
- Speciální tahové zkoušky

Tyto přístroje lze modifikovat dle přání zákazníka a jsou vyráběny na zakázku.

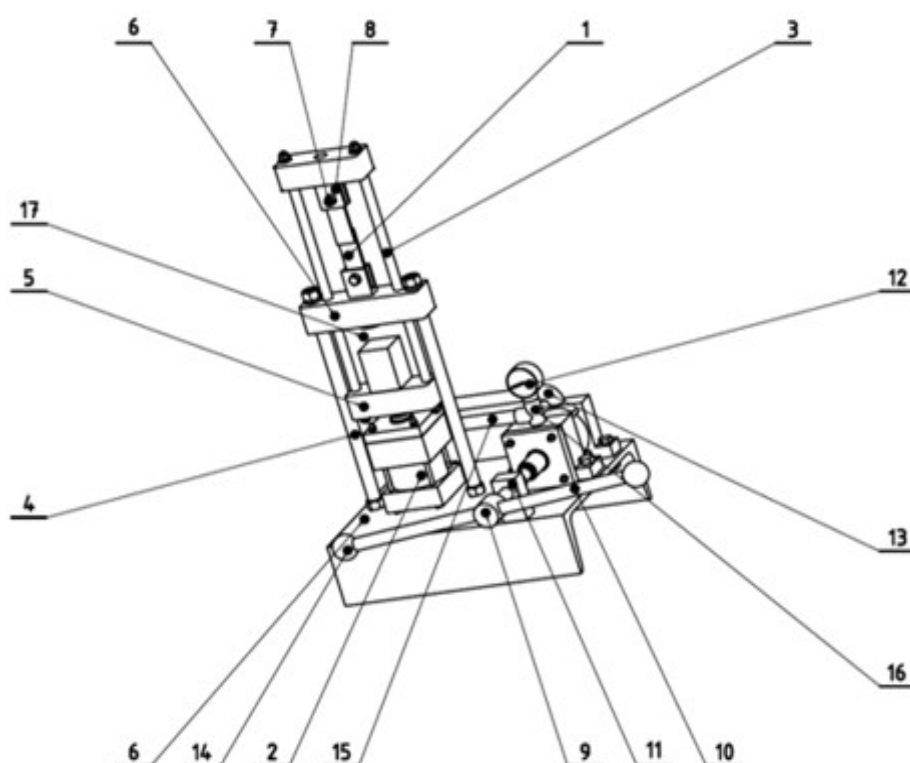


Obr. 1.14: Tempos TIRAtest 4000 ¹⁸

2 Konstrukční návrh s kontrolními výpočty

Hlavním cílem bakalářské práce bylo navrhnout univerzální trhací stroj, který by byl využitelný v předmětu Technický experiment, hlavně na tahové a tlakové zkoušky lepených vzorků. Stroj bude schopen hydraulicky vyvodit zátěžovou sílu do 30 kN, jak vyplývá z následujícího návrhu zkušební vzorku. Jako předloha k návrhu sloužil trhací stroj vyráběný společností Gunt HAMBURG ²¹.

Prvním krokem řešení bylo vytvoření schématu trhacího stroje obr. 2.1.



- | | |
|----------------------|----------------------------------|
| 1. Zkušební vzorek | 10. Páka tlačného šroubu |
| 2. Hydraulický válec | 11. Vodící držák tlačného šroubu |
| 3. Tyč průchozí | 12. Ručičkový manometr |
| 4. Tyč pevná | 13. Koleno 90° |
| 5. Příčník koncový | 14. T-kus |
| 6. Příčník průchozí | 15. Hydraulické hadice |
| 7. Zajišťovací čep | 16. Plastová kulička |
| 8. Kleština | 17. Prostor pro zkoušku tlakem |
| 9. Tlačný šroub | |

Obr. 2. 1 Schéma trhacího stroje

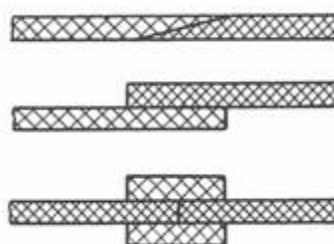
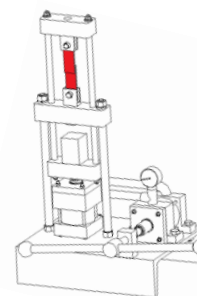
Pohyb stroje je zapříčiněn hydraulickými válci propojenými hadicemi, které vedou tlakový olej. Na vodorovný hydraulický válec působíme pomocí tlačného šroubu, tím zapříčiníme pohyb svislého hydraulického válce. Hodnota působící síly je kontrolována

manometrem, který měří tlak oleje. Stanovení poměru mezi tlakem a silou bude stanoveno kalibrací, která bude součástí další úlohy.

Trhací stroj má malé rozměry, aby byla usnadněna manipulace a použitelnost. Při konstrukčním řešení byl brán ohled na náklady, cílem bylo vytvořit levný, snadno ovladatelný stroj. Záměrně bylo zvoleno i ruční hydraulické vyvozování zátěžové síly. Stroj nebude závislý na elektrické energii a bude mít jednoduché ovládání.

2.1 Zkušební vzorky

Hlavním předpokladem pro návrh dobrého a účinného trhacího stroje je definice zkušebních vzorků. Stroj bude sloužit pro zkoušení lepených vzorků. Na spojení vzorků bude použit zejména přeplátovaný spoj. Předpokládám, že se budou používat některé z následujících spojů obr. 2.2



Obr. 2.2 Základní druhy lepených spojů

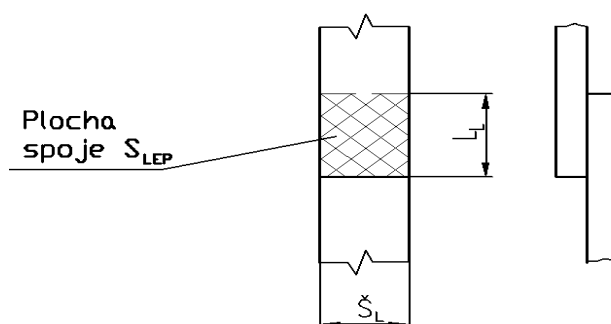
Na základě sortimentů lepidel dostupných na trhu jsem zjistil, že nejvyšší pevnost lepidla je zhruba 60 MPa. Plocha přeplátování bude o velikost cca 2 x 2 cm, tedy 4 cm². Návrh zkušebního vzorku je uveden na obr. 2.3. Zkušební vzorek bude do trhacího stroje uchycen pomocí kleštiny a čepu. Z následujících výpočtů vyplývá, že k přetržení vzorku při zvolených parametrech bude potřeba síly 24 000 N.

Maximální pevnost lepidla: $p_{LEP} = 60 \text{ MPa}$

Plocha spoje $S_{LEP} = \check{S}_L \times L_L = 2 \times 2 = 4 \text{ cm}^2 = 0,0004 \text{ m}^2$

Výpočet potřebné síly k přetržení lepeného spoje $F_{PŘET}$:

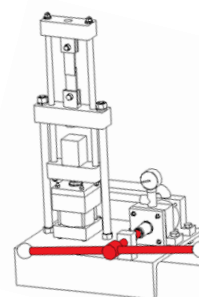
$$F_{PŘET} = p_{LEP} \times S_{LEP} = 60000000 \times 0,0004 = 24000 \text{ N} \quad (2.1)$$



Obr. 2. 3 Schéma lepení zkušební vzorku

2.2 Tlačný šroub

Tlačný šroub vyvozuje sílu na hydraulický válec. Šroub je namáhán tlakem a krutem. Pro pevnostní kontrolu jádra závitu d_3 pohybového šroubu bude použita Guestovu pevnostní hypotézu. Konstrukční provedení pohybového šroubu plyne z obr. 2.5



Pro vyvození síly jsem zvolil tlačný šroub M20 x 1,5

Hlavním rozměrem šroubu je velikost závitu $M20 \times 1,5$ další rozměry závitů jsou uvedeny v Tab. 3. Je zvolen materiál šroubu 12 040 $\rightarrow R_{e12040} = 300\text{MPa}$ dle ¹. Součinitel smykového tření v závitě $f_z = 0,15$ a statická bezpečnost ve šroubu $k_{Ss} \geq 1,5$ dle ².

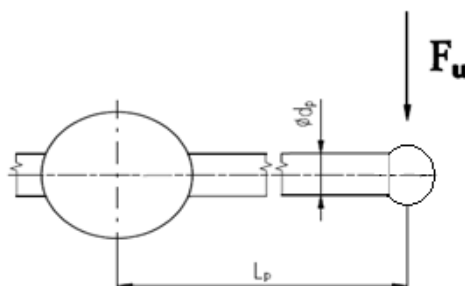
Tab. 3: Charakteristické rozměry závitu M20 x 1,5

Jmenovitý průměr závitu d [mm]	Rozteč P [mm]	Průměry závitů [mm]			
		d = D	d ₂ = D ₂	d ₁ = D ₁	d ₃
20	1,5	20,000	19,350	18,376	18,160

Pomocí této páky vytváříme na tlačný šroub hnací moment M_u . Díky tomuto momentu se tlačný šroub otáčí a vytváří potřebnou osovou sílu F_o , která se přenáší do hydraulického válce.

Utahovacího momentu šroubu:

Působením lidské paže silou F_u na rameni páky L_p vyvodíme hnací moment M_u
obr. 2.4



Obr. 2.4 Schéma působení lidské paže na páku

Sílu lidské paže volím $F_u = 250\text{N}$, délka ramene páky $L_p = 250\text{ mm}$, materiál páky volím 11 600 $\rightarrow R_e = 300\text{MPa}$ dle ¹, součinitel statické bezpečnosti $k_{sp} = 2$ dle ²

Výpočet utahovacího momentu:

$$M_u = F_u \cdot L_p = 250 \cdot 250 = 62500 \text{ Nmm} \quad (2.2)$$

Výpočet potřebné osově síly:

$$F_o = \frac{M_u}{\text{tg} \cdot (\psi + \varphi) \cdot \frac{d_2}{2}} = \frac{62500}{\text{tg} \cdot (1,43 + 9,83) \cdot \frac{19,026}{2}} = 32,999 \text{ kN} \quad (2.3)$$

Úhel stoupání závitu ψ :

$$\psi = \arctg \frac{P}{\pi \cdot d_2} = \arctg \frac{1,5}{\pi \cdot 19,026} = 1,43^\circ \quad (2.4)$$

Redukovaný třecí úhel φ :

$$\varphi = \arctg \frac{f_z}{\cos \frac{\alpha}{2}} = \arctg \frac{0,15}{\cos \frac{60}{2}} = 9,83^\circ \quad (2.5)$$

Průměr páky kruhového průřezu d_p [mm] určíme z kontroly namáhání páky na ohyb:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{F_u \cdot L_p}{\frac{\pi}{32} \cdot d_p^3} \leq \sigma_{dovOp} \quad (2.6)$$

$$d_p = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot F_u \cdot L_p}{\pi \cdot \sigma_{dovOp}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 250 \cdot 250}{\pi \cdot 150}} = 16,19 \text{ mm} \rightarrow \text{volím } d_p = 20 \text{ mm}$$

$$\sigma_{dovOp} = \frac{R_e}{k_{Sp}} = \frac{300}{2} = 150 \text{ MPa} \quad (2.7)$$

Pevnostní kontrola tlačného šroubu:

Výpočet normálového napětí ve šroubu $\sigma_{dš}$:

$$\sigma_{dš} = \frac{F_{š}}{S} = \frac{F_{š}}{\frac{\pi}{4} \cdot d_3^2} = \frac{30000}{\frac{\pi}{4} \cdot 18,160^2} = 115,8 \text{ MPa} \quad (2.8)$$

Výpočet smykového napětí ve šroubu τ_k :

$$\tau_k = \frac{M_{TZ}}{W_k} = \frac{56819,4}{1175,9} = 48,3 \text{ MPa} \quad (2.9)$$

Třecí moment M_{TZ} představuje třecí odpor kladený závitem matice proti otáčejícímu se pohybu šroubu.

$$M_{TZ} = F_{š} \cdot tg(\psi + \varphi) \cdot \frac{d_2}{2} = 30000 \cdot tg(1,43 + 9,83) \cdot \frac{19,026}{2} = 56819 \text{ Nmm} \quad (2.10)$$

Úhel stoupání závitu ψ :

$$\psi = \arctg \frac{P}{\pi \cdot d_2} = \arctg \frac{1,5}{\pi \cdot 19,026} = 1,43^\circ \quad (2.11)$$

Redukovaný třecí úhel φ :

$$\varphi = \arctg \frac{f_z}{\cos \frac{\alpha}{2}} = \arctg \frac{0,15}{\cos \frac{60}{2}} = 9,83^\circ \quad (2.12)$$

Modul odporu průřezu v krutu W_k

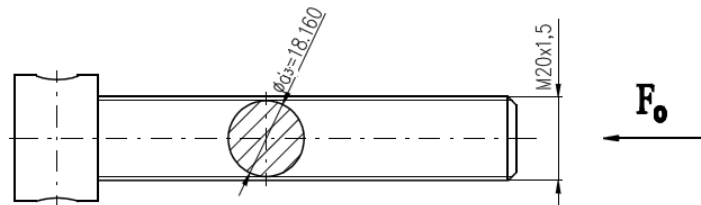
$$W_k = \frac{\pi \cdot d_3^3}{16} = \frac{\pi \cdot 18,160^3}{16} = 1175,9 \text{ mm}^3 \quad (2.13)$$

Z hlediska bezpečnosti není možné přesně určit, která část je namáhána krutem a která ohybem, proto jsem pro kontrolu zvolil, že šroub bude namáhán jak krutem, tak tlakem. Pomocí Guestovy hypotézy vypočtu redukované napětí ve šroubu:

$$\sigma_{redš} = \sqrt{\sigma_{dš}^2 + 4 \cdot \tau_K^2} = \sqrt{115,8^2 + 4 \cdot 48,3^2} = 150,9 \text{ MPa} \quad (2.14)$$

Určení statické bezpečnost ve šroubu

$$k_s = \frac{R_{e12040}}{\sigma_{redš}} = \frac{300}{150,9} = 1,99 \rightarrow \text{Pohybový šroub M20 x 1,5 vyhovuje} \quad (2.15)$$



Obr. 2. 5 Schéma působení sil na tlačný šroub

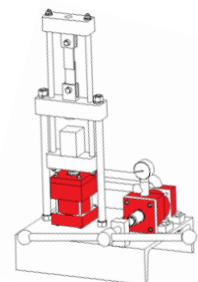
2.3 Hydraulický válec

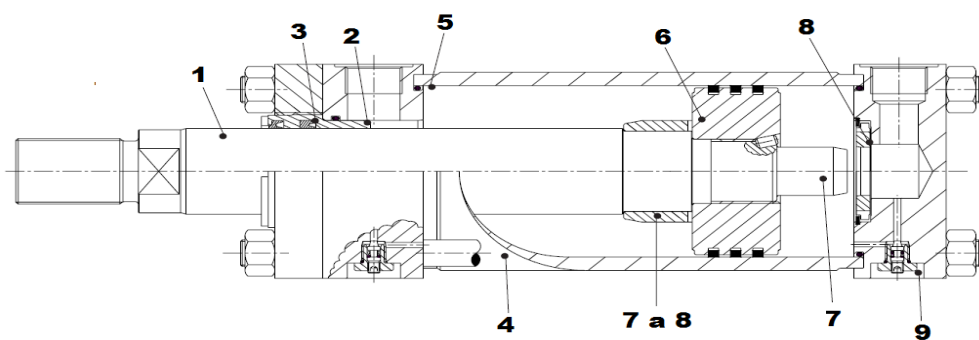
Dle zadaných parametrů je nutno zvolit hydraulický válec, který dokáže vyvodit sílu 30 kN.

Výpočet potřebného průměru pístu k vyvození síly F_V :

$$\begin{aligned} p_{Vmax} &= \frac{F_V}{S_V} \rightarrow S_V = \frac{F_V}{p_{Vmax}} \\ \frac{\pi \cdot d_V^2}{4} &= \frac{F_V}{p_{Vmax}} \rightarrow d_V = \sqrt{\frac{4 \cdot F_V}{\pi \cdot p_{Vmax}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 30000}{\pi \cdot 7}} = \\ &= 73,9 \text{ mm} \rightarrow \text{volím průměr pístu } d_V = 82,6 \text{ mm} \end{aligned} \quad (2.16)$$

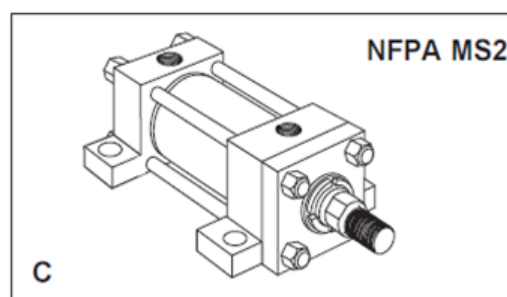
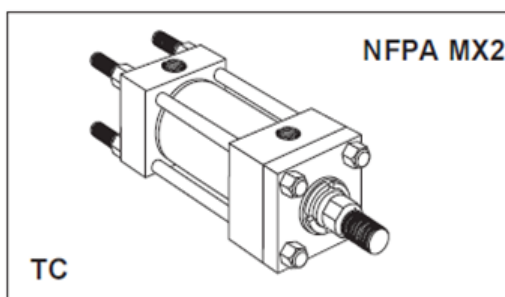
Na základě získaného průměru jsem zvolil hydraulické válce od firmy Seall, v.o.s., série 3L, maximální tlak $p_{Vmax} = 7 \text{ MPa}$ ¹⁴. Hydraulický válec má vhodné konstrukční rozměry Obr. 2.4, firma nabízí v různých velikostech a velkém množství konstrukčních a upínacích provedení a díky tomu je velmi snadno použitelný. Výpočtem potřebného průměru pístu bylo určeno, že je zapotřebí hydraulický válec s průměrem pístu min. 73,9 mm. Dle nabídky výrobce byl zvolen píst o průměru 82,6 mm.





- | | |
|---------------------|-------------------|
| 1. Pístnice | 6. Píst |
| 2. Mazání pístnice | 7. Doraz |
| 3. Těsnění pístnice | 8. Tlumič |
| 4. Tělo válce | 9. Jehlový ventil |
| 5. Těsnění pístu | |

Obr. 2. 6 Schéma hydraulického válce¹⁴

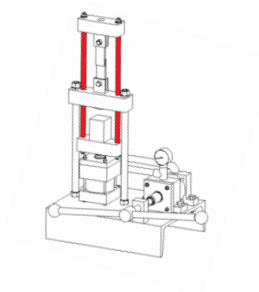


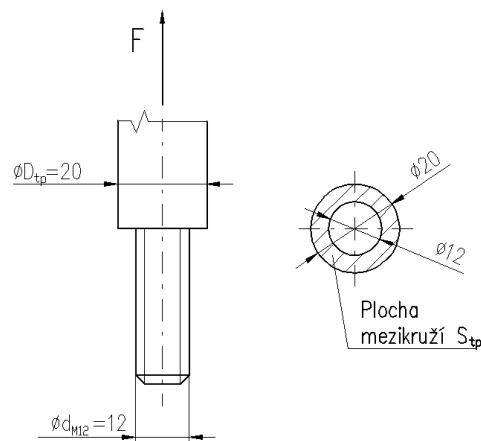
Obr. 2. 7 Typy použitých hydraulických válců¹⁴

Po navržení konkrétního hydraulického válce a určení zátěžové síly je potřeba dimenzovat ostatní části stroje, součástí musí být natolik tuhé, aby při zkouškách nedocházelo k deformacím a posuvu, což by ovlivňovalo přesnost měření.

2.4 Tyč pohyblivá

Tyč pohyblivá je vedena skrz pevný příčník a zajišťuje pohyb pohyblivého rámu. Tyč kontrolujeme na otláčení v příčnících a na vzpěr dle obr. 2.8





Obr. 2. 8 Schéma působení síly na tyč pohyblivou

Součinitel smykového tření v závitu $f_z = 0,15$ dle ², utahovací moment $M_{uM16} = 30 \text{ Nm}$, pro daný utahovací moment jsem zjistil sílu v ose šroubu $F_{oM} = 16000 \text{ N}$ ²⁰, materiál tyče 14 220 $\rightarrow R_{e14220} = 440 \text{ MPa}$ dle ¹⁹

Síla F_v se přenáší pomocí dvou tyčí, síla v tyčích se rovná 15000 N .

Tab. 1: Charakteristické rozměry závitu M12

Jmenovitý průměr závitu d [mm]	Rozteč P [mm]	Průměry závitů [mm]			
		d = D	d ₂ = D ₂	d ₁ = D ₁	d ₃
12	1,5	12,000	11,026	10,376	10,160

Kontrola na otláčení od síly F a F_{oM}

$$\sigma_{dtp} = \frac{F}{S_{tp}} = \frac{F + F_{oM}}{\frac{\pi}{4} \cdot (D_{tp}^2 - d_{M12}^2)} = \frac{15000 + 16000}{\frac{\pi}{4} \cdot (20^2 - 12^2)} = 154 \text{ MPa} \quad (2.17)$$

Statická bezpečnost

$$k_s = \frac{R_{e11700}}{\sigma_{redM12}} = \frac{440}{154} = 2,8 \geq 1,5 \rightarrow \text{vyhovuje} \quad (2.18)$$

Kontrola na vzpěr

Výpočet minimálního kvadratického momentu

$$J_{min} = \frac{\pi}{64} \cdot d_{tp}^4 = \frac{\pi}{64} \cdot 20^4 = 7854 \text{ mm}^4 \quad (2.19)$$

Výpočet kritické síly

$$F_{krit} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_{min}}{(n \cdot l_{tp})^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 7854}{(0,65 \cdot 400)^2} = 76650 \text{ N} \quad (2.20)$$

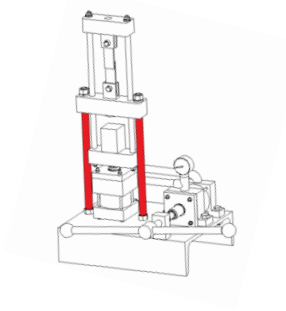
Podmínka stability

$$F_{krit} \geq F \quad (2.21)$$

$$76650 \geq 15000 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

2.5 Tyč pevná

Tyč pevná slouží k uchycení průchozího příčnicku k rámu trhačím stroje. Obě části jsou sešroubovány. Společně tvoří pevnou část trhačím stroje. Tyč bude vyrobena z kruhového průřezu. Po zvolení materiálu a součinitele smykového tření v závitu je potřeba zkontrolovat tah v závitu dle obr. 2.9



Tyč kontrolujeme na tah v závitu M16. Tah vzniká od tlačné síly F a od utahovacího momentu matice M_u .

Součinitel smykového tření v závitu $f_z = 0,15$ dle ², utahovací moment $M_{uM16} = 50 \text{ Nm}$, pro daný utahovací moment jsem našel sílu v ose šroubu $F_{oM} = 23000 \text{ N}$ ²⁰, volím materiál tyče 14 220 $\rightarrow R_{e14220} = 440 \text{ MPa}$ dle ¹⁹, statickou bezpečnost tyče $k_{St} = 1,2$

Tab. 2: Charakteristické rozměry závitu M16

Jmenovitý průměr závitu d [mm]	Rozteč P [mm]	Průměry závitů [mm]			
		$d = D$	$d_2 = D_2$	$d_1 = D_1$	d_3
16	2	16,000	14,701	13,835	13,546

Napětí v závitu pevné tyče od síly F

$$\sigma_{tM16F} = \frac{F}{S_{pev}} = \frac{F}{\frac{\pi}{4} \cdot d_{3M16}^2} = \frac{15000}{\frac{\pi}{4} \cdot 13,546^2} = 104 \text{ MPa} \quad (2.22)$$

Napětí v závitu pevné tyče od síly F_{oM} od utažení matice

$$\sigma_{tM16M} = \frac{F_{oM}}{S_{pev}} = \frac{F_{oM}}{\frac{\pi}{4} \cdot d_{3M16}^2} = \frac{31000}{\frac{\pi}{4} \cdot 13,546^2} = 159 \text{ MPa} \quad (2.23)$$

Napětí v závitu od utahovacího momentu M_{um16}

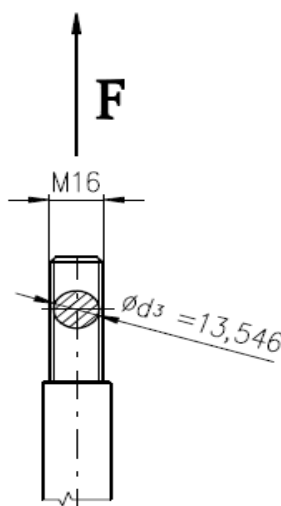
$$\tau_{M16} = \frac{M_k}{W_k} = \frac{M_{uM16}}{\frac{\pi}{16} \cdot d_{3M16}^3} = \frac{88000}{\frac{\pi}{16} \cdot 13,546^3} = 102 \text{ MPa} \quad (2.24)$$

Vypočteme redukované napětí v kritickém místě šroubu:

$$\sigma_{redM16} = \sqrt{(\sigma_{tM16F} + \sigma_{tM16M})^2 + \tau_{M16}^2} = \sqrt{(104 + 159)^2 + 102^2} = 332 \text{ MPa} \quad (2.25)$$

Výsledná statická bezpečnost:

$$k_s = \frac{R_{e14220}}{\sigma_{redM16}} = \frac{440}{332} = 1,32 \geq 1,2 \rightarrow \text{vyhovuje} \quad (2.26)$$

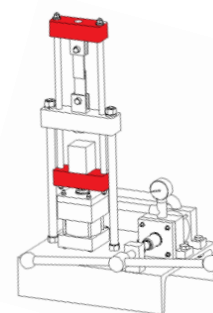


Obr. 2. 9 Schéma působení síly na pevnou tyč

2.6 Příčník koncový

Koncové příčníky jsou součástí pohyblivého rámu stroje. V koncových příčnících jsou otvory se závitem. V horním koncovém příčniku slouží otvor k uchycení kleštiny, v dolním koncovém příčniku je otvor pro uchycení pístnice hydraulického válce.

Příčníky budou vyrobeny z čtyřhranu jakosti 11 500. Tento materiál byl zvolen, protože na příčník nepůsobí velké napětí a materiál má příznivou cenu. Příčník je potřeba zkontrolovat na ohybové napětí a zjistit výslednou statistickou bezpečnost.



Kontrola příčnicku:

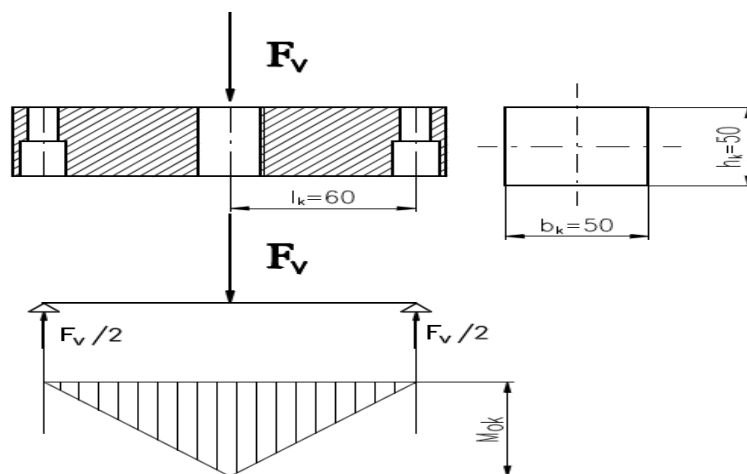
Průchozí příčník kontrolujeme na ohyb dle obr. 2.10, materiál příčnicku volím 11 500 → $R_{e11500} = 250 \text{ MPa}$ dle ¹.

Výpočet ohybového napětí:

$$\sigma_{ok} = \frac{M_{ok}}{W_{ok}} = \frac{F_V \cdot l_k}{\frac{(b_k - d_{M20}) \cdot h_k^2}{6}} = \frac{30000 \cdot 60}{\frac{(50 - 20) \cdot 50^2}{6}} = 144 \text{ MPa} \quad (2.27)$$

Výsledná statistická bezpečnost:

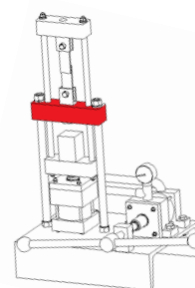
$$k_S = \frac{R_{e11500}}{\sigma_{ok}} = \frac{250}{144} = 1,7 \geq 1,5 \rightarrow \text{vyhovuje} \quad (2.28)$$



Obr. 2. 10 Schéma působení síly na koncový příčník

2.7 Příčník průchozí

Průchozí příčník je součástí pevného rámu stroje. Ve středu příčnicku je závitový otvor k uchycení kleštiny, do které se upevňuje zkušební vzorek. Dále jsou v příčnicku ještě vodící otvory pro průchozí tyče. Průchozí příčník bude obdobně jako koncový příčník vyroben z čtyřhranu jakosti 11 500 → $R_{e11500} = 250 \text{ MPa}$ dle ¹.



Kontrola příčniku:

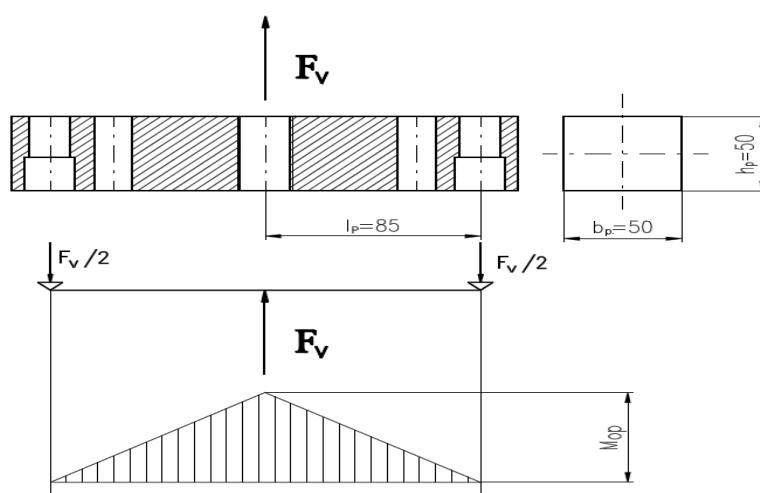
Průchozí příčník kontrolujeme na ohyb dle obr. 2.11

Výpočet ohybového napětí:

$$\sigma_{op} = \frac{M_{op}}{W_{op}} = \frac{F_V \cdot l_p}{\frac{b_p \cdot h_p^2}{6}} = \frac{30000 \cdot 85}{\frac{50 \cdot 50^2}{6}} = 122,4 \text{ MPa} \quad (2.29)$$

Výsledná statistická bezpečnost:

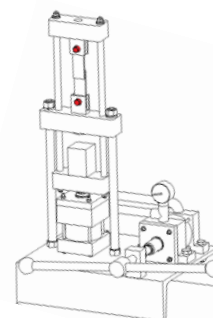
$$k_S = \frac{R_{e11500}}{\sigma_{op}} = \frac{250}{122,4} = 2,04 \geq 1,5 \rightarrow \text{vyhovuje} \quad (2.30)$$



Obr. 2. 11 Schéma působení síly na průchozí příčník

2.8 Zajišťovací čep

Zajišťovací čep slouží k uchycení zkušebních vzorků do kleštiny. Čep bude namáhán tahovou silou kolmou na osu čepu dle Obr. 2.12. Vzhledem k tomu, že je čep uložen v otvoru s vůlí, počítáme jeho průměr z kombinace namáhání na ohyb a smyk. Smykové napětí od posouvající síly vůči ohybu je malé a obvykle ho zanedbáváme. Potřebnou délku čepu počítáme z kontrol měrného tlaku ve zkušebním vzorku a kleštině.



Volím materiál čepu 11 500 → dovolené napětí v ohybu $\sigma_{dovOč} = 150\text{MPa}$ a dovolený měrný tlak $p_D=120\text{ MPa}$ volím z ¹.

Podle vypočítaného průměru d_{ζ} zvolím nejbližší vyšší velikost normalizovaného čepu z ¹.

Výpočet potřebného průměru čepu d_{ζ} z ohybu:

$$\sigma_O = \frac{M_{o\check{c}}}{W_{o\check{c}}} = \frac{\frac{F}{2} \cdot \left(\frac{b}{2} + \frac{b}{2}\right)}{\frac{\pi}{32} \cdot d_{\zeta}^3} = \frac{16 \cdot F \cdot b}{\pi \cdot d_{\zeta}^3} \leq \sigma_{dovO\check{c}} \quad (2.31)$$

$$d_{\zeta} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot F \cdot b}{\pi \cdot \sigma_{dovO}}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 15000 \cdot 5}{\pi \cdot 150}} = 13,66\text{mm} \rightarrow \text{volím } d_{\zeta} = 16\text{ mm}$$

Délka náboje zkušební vzorku $2b$ musí vyhovovat podmínce pro měrný tlak ve zkušebním vzorku:

$$p_1 \leq p_D \quad (2.32)$$

$$\frac{F}{2b \cdot d_{\zeta}} \leq p_D$$

$$\frac{15000}{2 \cdot 5 \cdot 16} \leq 120$$

$$93,75 \leq 120 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

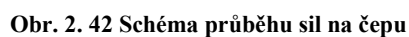
Délka uložení čepu b musí vyhovovat podmínce měrného tlaku v kleštině:

$$p_2 \leq p_D \quad (2.33)$$

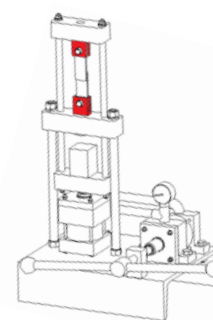
$$\frac{\frac{F}{2}}{b \cdot d_{\zeta}} \leq p_D$$

$$\frac{\frac{15000}{2}}{5 \cdot 16} \leq 120$$

$$93,75 \leq 120 \rightarrow \text{vyhovuje}$$



Kleština se zajišťovacím čepem slouží k uchycení zkušebního vzorku na rám stroje, je namáhána dle obr. 2.13 silou F_V . Kleština bude vyrobena z ploché tyče jakosti 11 600. Kleštinu je potřeba zkontrolovat na tah na bocích.

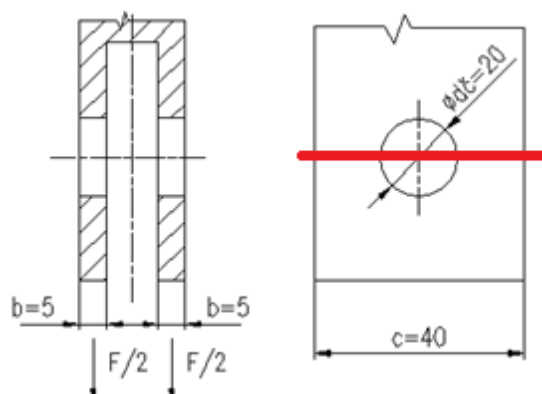


Výpočet napětí na bocích kleštiny:

$$\sigma_{tk} = \frac{F_V}{S_k} = \frac{\frac{F_V}{2}}{b \cdot (c - d_s)} = \frac{\frac{30000}{2}}{5 \cdot (40 - 20)} = 150 \text{ MPa} \quad (2.34)$$

40

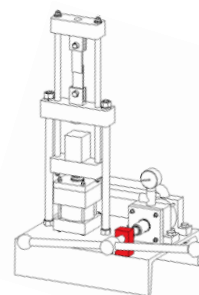
$$k_s = \frac{R_{e11600}}{\sigma_{tk}} = \frac{300}{150} = 2 \geq 1,5 \rightarrow \text{vyhovuje} \quad (2.35)$$



Obr. 2. 5 Schéma kleštiny

2.10 Vodícího držák tlačného šroubu

Vodící držák tlačného šroubu slouží k vedení pohyblivého šroubu. Šroub se v držáku otáčí a tlačí na hydraulický válec.



Dimenzování držáku

Výšku držáku h_m dle obr. 2.14 určujeme s ohledem na opotřebení závitu a vycházíme z kontroly měrného tlaku p_m v závitech. Čím menší je tlak v závitech, tím menší je opotřebení závitu. Dovolený měrný tlak v závitech $p_{Dm} = 20 \text{ MPa}$, volím malý s ohledem na co nejmenší opotřebení závitu v závislosti na materiál držáku a šroubu, na trvání a počtu změn vratného pohybu a kluzné rychlosti v závitu. Parametry závitu M20x1,5 jsou uvedeny v Tab. 3

Z kontroly měrného tlaku v závitech vypočteme potřebný počet závitů držáku:

$$p_m \leq p_{Dm} \quad (2.36)$$

$$\frac{F_o}{\pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot z} \leq p_{Dm}$$

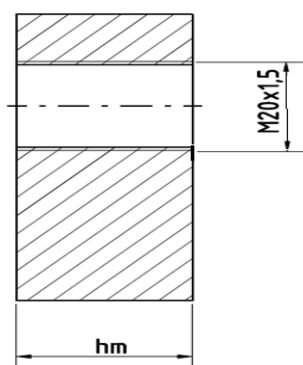
$$z \geq \frac{F_o}{\pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot p_{Dm}} \geq \frac{30000}{\pi \cdot 19,026 \cdot 0,812 \cdot 20} \geq 30,4 \text{ závitů}$$

Nosná hloubka závitů H_1 určíme ze vztahu:

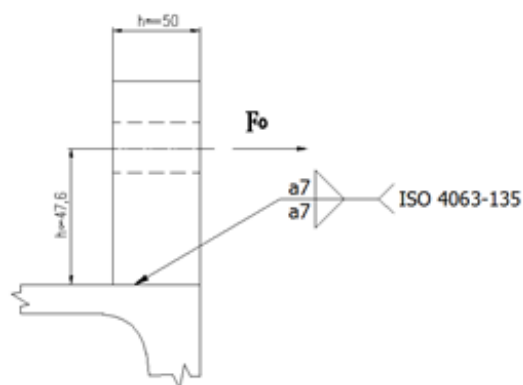
$$H_1 = \frac{d - D_1}{2} = \frac{20 - 18,376}{2} = 0,812 \text{ mm} \quad (2.37)$$

Výška držáku je:

$$h_m = z \cdot P = 30,4 \cdot 15 = 46,35 \rightarrow \text{volím } 50 \text{ mm} \quad (2.38)$$



Obr. 2. 6 Schéma vodícího držáku



Obr. 2. 7 Schéma svaru držáku k podložce

Kontrola svaru vodícího držáku:

Držák je připevněn svarem k rámu stroje pomocí obloukového svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu (MAG svařování). Byl použit oboustranný koutový svar. Svar je namáhán silou F_o od tlačného šroubu dle obr. 2.15

Materiálem svaru je volena konstrukční ocel 11 523.0 ($R_{es} = 333 \text{ MPa}$), statická bezpečnost svaru $k_{Ss} = 1,25$ a převodní součinitele k_{\perp}, k_{\parallel} volím dle ².

Výpočet jednotlivých napětí:

$$\tau_{\perp}^{M_{os}} = \frac{M_{os}}{W_{os}} = \frac{F_o \cdot h_o}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot h_m^2 \cdot a_s} = \frac{30000 \cdot 47,6}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 50^2 \cdot 7} = 221,8 \text{ MPa} \quad (2.39)$$

$$\tau_{\parallel}^{F_o} = \frac{F_o}{2 \cdot a_s \cdot h_m} = \frac{30000}{2 \cdot 7 \cdot 50} = 42,9 \text{ MPa} \quad (2.40)$$

Výpočet výsledného redukovaného napětí ve svaru σ_{REDS} :

$$\sigma_{REDS} = \sqrt{\left(\frac{\tau_{\perp}^{Mos}}{k_{\perp}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{\parallel}^{Fo}}{k_{\parallel}}\right)^2} \leq \beta \cdot \frac{R_e}{k_{SS}} \quad (2.41)$$

$$\sigma_{REDS} = \sqrt{\left(\frac{\tau_{\perp}^{Mos}}{k_{\perp}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{\parallel}^{Fo}}{k_{\parallel}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{221,8}{0,9}\right)^2 + \left(\frac{42,9}{0,8}\right)^2} = 252 \text{ MPa}$$

Výpočet součinitele tloušťky svaru β :

$$\begin{aligned} \beta &= 1,3 - 0,03 \cdot z \\ \beta &= 1,3 - 0,03 \cdot \frac{a_s}{0,7} = 1,3 - 0,03 \cdot \frac{7}{0,7} = 1 \end{aligned} \quad (2.42)$$

Výsledná bezpečnost svaru:

$$k_{SS} = \beta \cdot \frac{R_{es}}{\sigma_{REDS}} = 1 \cdot \frac{333}{252} = 1,3 \geq 1,25 \rightarrow \text{vyhovuje} \quad (2.43)$$

3 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout univerzální trhací stroj se zátěžovou silou 30 kN, určený pro výuku předmětu Technický experiment.

Prvním krokem tvorby konstrukčního návrhu bylo zjištění informací o trhacích strojích, které se prodávají na trhu a o zkouškách, které se na nich provádějí. Zjistil jsem, že pro zadané parametry vyrábí trhací stroj firma Gunt Hamburg, jejíž provedení jsem si vybral jako předlohu.

Dle zjištění sortimentu lepidel na trhu jsem navrhl vhodné rozměry testovacích vzorků. Poté jsem na základě předlohy navrhl trhací stroj modifikovaný na vyšší trhací sílu. Správnost návrhu byla ověřena pevnostními výpočty jednotlivých dílů trhacího stroje.

Cíle bakalářské práce byly splněny, byl vytvořen konstrukční návrh univerzálního trhacího stroje, včetně materiálového provedení a kontrolních výpočtů a kompletní výkresová dokumentace. Zátěžová síla bude vyvozena pomocí hydraulického válce. Celý stroj je nutné pro zabránění koroze povrchově ošetřit základní a povrchovým nátěrem, vyjma pohyblivých částí, které budou konzervovány mazacím tukem.

4 Seznam použité literatury

Knihy a příručky:

1. LEINVEBER, J., VÁVRA, P.: *Strojnické tabulky. Druhé doplněné vydání*
Úvaly: Albra – Pedagogické nakladatelství, 2005, 910 s., ISBN 80-7361-011-6.
2. KALÁB, K.: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře. Části spojovací. 1. vyd.*
Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008, 91 s., ISBN 978-80-248-1290-8..
3. KALÁB, K.: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře. Části pohonů strojů. 1. vyd.*
Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008, 130 s., ISBN 978-80-248-1860-3.
4. BOLEK, A. a kol.: *Části strojů - příklady*
Opava: OSTROJ, národní podnik, 1975. ISBN 800-30-0046-7
5. BOLEK, A. a kol.: *Části strojů – svazek. 1.*
Praha: SNTL, 1990. 776 s.; ISBN 80-03-00193-5.
6. NĚMĚC, J. a kol.: *Pružnost a pevnost ve strojírenství.*
Praha: SNTL, 1989. 600 s.; ISBN 80-03-00046-7.
7. KORBAŘ, T.; STRÁNSKÝ, A. *Technický slovník naučný. 1. vyd.*
Praha: SNTL, 1963. 676 s. ISBN 04-029-63
8. HLUCHÝ, M., a kol.: *Strojírenská technologie I : Nauka o materiálu. 2.vyd.*
Praha: SNTL, 1978. 360 s. ISBN 04-212-78.

Internetové zdroje:

9. Josef Gruber: Osobní stránka. Josef Gruber [online]. 2006 [cit. 2012-04-09].
Dostupné z: http://www.spstr.pilsedu.cz/osobnistranky/josef_gruber/kom/obrtah.html
10. Mechanické vlastnosti: Zkouška tahem. Mechanické vlastnosti [online]. 2010 [cit. 2012-04-11]. Dostupné z: <http://www.ateam.zcu.cz/mechvlast.html>
11. Statické zkoušky: Zkouška tahem. Statické zkoušky [online]. 2005 [cit. 2012-04-18]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~dyxon/DATA/Nauka%20o%20M/Zkouska.pdf>
12. Mechanické vlastnosti: Zkouška tahem. Mechanické vlastnosti [online]. 2006 [cit. 2012-04-11]. Dostupné z: http://www.ateam.zcu.cz/mechanicke_vlastnosti.pdf
13. Strojírenství: Strojírenská technologie. Strojírenství [online]. 2005-2007 [cit. 2012-04-22].
Dostupné z: http://www.strojirenstvi.wz.cz/stt/rocnik1/06a_pruznost_pevnost.php
14. Seall: Průmyslové hydraulické válce. Seall [online]. 2010 [cit. 2012-04-27].
Dostupné z: <http://www.seall.cz/prumyslove-hydraulicke-valce>
15. Tempos: Technická měřidla a počítačové systémy. Tempos [online]. 2002-2011 [cit. 2012-04-30]. Dostupné z: <http://www.tempos.cz/zkusebni-stroje/zkusebni-stroje-tira/jednosloupove-zkusebni-stroje-do-3-kn>

- 16.** Labor Tech: Zkušební trhací stroje. Labor Tech [online]. 2009 [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://www.labortech.cz/produkty/zkusebni-stroje/zkusebni-trhaci-stroje/0--50kn/>
- 17.** Labor Machine s.r.o.: CT modely. Labor Machine s.r.o. [online]. 2001 [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://labormachine.cz/ct-modely/fs1000ct-1000kn-2/>
- 18.** Tempos: Technická měřidla a počítačové systémy. Tempos [online]. 2002-2011 [cit. 2012-04-30]. Dostupné z: <http://www.tempos.cz/zkusebni-stroje/zkusebni-stroje-tira/trhaci-stroje-do-4000-kn>
- 19.** Mechanické vlastnosti oceli: Tabulka. Mechanické vlastnosti oceli [online]. 2005 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.tprom.cz/tabulky/tabulka4.html>
- 20.** Vespos: Technické informace. Vespos [online]. 2008-2012 [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: http://www.vespos.cz/technicke-informace.php#utahovaci_momenty
- 21.** Gunt Hamburg: Equipment for engineering education. Gunt Hamburg [online]. 2005 [cit. 2012-05-10]. Dostupné z: http://www.gunt.de/static/s3648_1.php?p1=&p2=&pN=;;#

5 Seznam příloh

NÁZEV	ČÍSLO VÝKRESU	FORMÁT
<u>V příloze práce:</u>		
1. TRHACÍ STROJ	STA0041-BP-01	A1
2. KUSOVNÍK	STA0041-BP-01-k	A4
<u>Na přiloženém CD</u>		
3. RÁM	STA0041-BP-01-01	A3
4. VODÍCÍ DRŽÁK	STA0041-BP-01-01-01	A4
5. ZKUŠEBNÍ VZOREK	STA0041-BP-01-02	A4
6. TLAČNÝ ŠROUB	STA0041-BP-01-03	A4
7. PÁKA TL. ŠROUBU	STA0041-BP-01-04	A4
8. KLEŠTINA	STA0041-BP-01-05	A4
9. PŘÍČNÍK KONCOVÝ	STA0041-BP-01-06	A4
10. PŘÍČNÍK PRŮCHOZÍ	STA0041-BP-01-07	A4
11. TYČ PEVNÁ	STA0041-BP-01-08	A4
12. TYČ PRŮCHOZÍ	STA0041-BP-01-09	A4
13. ZKUŠEBNÍ KOSTKA	STA0041-BP-01-10	A4
14. ZKUŠEBNÍ KOTOUČ	STA0041-BP-01-11	A4